

LA INCIDENCIA DE LAS VARIABLES MORFOLÓGICAS, SOBRE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA EDILICIA URBANA EN EL ÁREA METROPOLITANA DE MENDOZA.

N. A. Mesa,¹ C. de Rosa².

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda - Instituto Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (LAHV INCIHUSA)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas – CRICYT C.C.131 C.P. 5500 – Mendoza
Tel. 0261-4288797 – Fax 0261-4287370 e-mail: amesa@lab.cricyt.edu.ar

RESUMEN: El estudio tiene por objetivo profundizar el conocimiento sobre la relación entre las variables morfológicas y los requerimientos energéticos de edificios insertos en tramas urbanas de zonas áridas de clima mesotermal seco. Se aporta información cuantitativa sobre las correlaciones entre las características morfológicas de las tipologías de unidades urbanas (manzanas) y edificaciones seleccionadas, y los consumos energéticos necesarios para la calefacción de los espacios interiores.

El cálculo del comportamiento térmico y de los requerimientos energéticos por unidad de volumen, de las distintas tipologías se realizó a través del cálculo analítico y de métodos de simulación. Los resultados obtenidos corroboran la respuesta energética más eficiente de las altas densidades y las tipologías compactas, por sobre las bajas densidades y tipologías abiertas (ahorros de hasta el 40%), y además la correlación entre el comportamiento térmico y las características morfológicas de las construcciones.

Palabras clave: morfología edilicia, características geométricas, edificios residenciales, eficiencia energética.

INTRODUCCIÓN

El Área Metropolitana de Mendoza (AMM), está integrada por seis departamentos administrativos y tiene una población estimada de 1 millón de habitantes; se sitúa en la región centro oeste de Argentina, siendo sus coordenadas geográficas latitud -32.89°, longitud 68.85° y altitud 825 m.s.n.m.

En el sector central del AMM, se presentan las más altas densidades, descendiendo gradualmente hacia la periferia. Ésta zona se ha desarrollado históricamente a partir de una trama fundacional de la Nueva Ciudad (1862), en cuadrícula de manzanas regulares de aproximadamente 100 m x 100 m, con una desviación de 12° hacia el este.

A lo largo del tiempo su desarrollo ha sido heterogéneo, generándose áreas más densas, y otras caracterizadas por crecimientos más dispersos, ajustándose la trama a la topografía, pendientes, cauces de irrigación, etc.; quedando modificada la estructura urbana originaria, extendiéndose hacia la periferia con marcadas variaciones de forma y orientación.

La región se caracteriza por presentar inviernos templado - fríos, con valores entre 1300 y 1500 GD anuales de calefacción base 18, y cuenta con un generoso recurso solar (16.5 a 20 MJ/m² día). A partir del año 1982, con el ingreso del gasoducto Centro – Oeste, la evolución del consumo de gas en la Provincia de Mendoza, tiene un punto de inflexión importante. Comienza a generalizarse su uso, y el consumo del sector edilicio continúa en aumento hasta el presente, correspondiéndole al sector residencial el 22.4% del total del consumo de gas distribuido por red (Ministerio de Ambiente y Obras Públicas de Mendoza, 1998), presentándose una marcada variación estacional en el consumo, contribuyendo esto en una medida importante al deterioro ambiental global a través de la emisión de gases de invernadero.

La interrelación entre, el consumo de energía convencional y los problemas ambientales del hábitat humano es directa. Involucrando los ámbitos urbanos en los que, la concentración poblacional y la consecuente densidad edilicia, condicionan la calidad ambiental del espacio urbano y acrecienta la necesidad de utilización de energía para acondicionar climáticamente las construcciones. El conocimiento del comportamiento del parque edilicio residencial, en lo referente a la conservación de energía y el acceso a los recursos energéticos renovables, es imprescindible para poder planificar el desarrollo urbano dentro de un marco de máxima eficiencia energética.

METODOLOGÍA

Mediante un estudio comparativo de las distintas zonas urbanas representativas del AMM, se evalúa la incidencia de las características geométricas de las manzanas y morfológicas de las construcciones, sobre la eficiencia energética de los edificios urbanos, sin considerar por el momento el enmascaramiento solar debido a construcciones vecinas.

¹ Becario de formación de posgrado CONICET

² Investigador principal CONICET

Determinación de las unidades de análisis

De todas las variaciones que se presentan en la trama urbana del AMM, se identificaron tipologías de manzanas y edificaciones, basándose en sus características geométricas y morfológicas respectivamente. Dichas tipologías se simplificaron en formas puras que se extrajeron de su contexto, para evaluar su comportamiento termo - energético, sin influencia del entorno inmediato. De esta manera quedaron definidos como unidades de análisis, cuatro volúmenes, para la tipología de manzanas y seis para la tipología de edificios.

Acceso al sol

Teniendo en cuenta el acceso al sol, considerado solamente en función de la orientación y geometría de las manzanas, se definieron las orientaciones más favorables para cada unidad de análisis, tratando de optimizar las condiciones de habitabilidad de los espacios.

Partiendo del análisis de las volumetrías de las manzanas con características geométricas típicas, a través del modelo gráfico computacional (Mesa, N. et al, 2000), se determinaron las áreas de fachadas norte potencialmente colectoras considerando solamente la radiación directa, para el día 21 de Junio.

Comportamiento térmico y requerimientos energéticos

El cálculo del comportamiento térmico y de los requerimientos energéticos de las distintas tipología analizadas se realizó a través del cálculo analítico y de métodos de simulación. Para el cálculo analítico, del *Coefficiente Volumétrico de Pérdidas* (G) y la *Carga Térmica de Calefacción* requerida (Q), se utilizaron las ecuaciones proporcionadas por las Norma IRAM 11604 “Acondicionamiento térmico de edificios. Ahorro de energía en calefacción”. Para el cálculo de la *Relación Carga Colector* (RCC) y la *Fracción de Ahorro Solar* (FAS) se utilizó el método de Los Alamos National Laboratory (Balcomb, 1983).

El método de simulación utilizado fue el programa SolArch módulo 6B-Solar “Thermal Performance Calculation” (Kahl, A). Entre ambos métodos de cálculo (analítico y simulación) se obtuvieron correlaciones entre las variables morfológicas y los requerimientos de energía que presentan variaciones inferiores al 3%.

Para el cálculo del comportamiento térmico sólo se variaron las características morfológicas de las tipologías, manteniendo constantes, los datos climáticos, el área total de ventanas (20 % del área de piso, ubicación proporcional en cada caso, a las medidas de los lados de los volúmenes), número de renovaciones de aire y los valores de los componentes tecnológicos utilizados. Para determinar los valores de la transmitancia térmica (K) de cada uno de los elementos, se utilizaron componentes de los edificios existentes (de Rosa et al. 1985) que quedaron estipulados en:

Techos de losa cerámica con aislación de 5cm de granulado volcánico	K= 0,34 W/m ² °C
Muro de ladrillón de 0.18 m con dos caras revocadas	K= 1,48 W/m ² °C
Ventanas de marco metálico, simple vidrio y protección nocturna	K= 3,71 W/m ² °C
Fundaciones	K= 0,70 W/m ² °C

MORFOLOGÍA URBANA. Caracterización tipológica de las manzanas

La configuración de las calles, al igual que la proporción entre los lados de las manzanas, delimita la posibilidad de acceso a los recursos de ventilación y asoleamiento disponibles. De ahí la necesidad del análisis de la influencia de estos parámetros sobre el comportamiento energético de estas unidades urbanas. Las variables estructurales que se analizaron fueron sus características geométricas (relación ancho - largo) y la orientación de su eje principal.

Se seleccionaron 4 tipologías características de la zona de baja densidad del AMM, cada una con 6 orientaciones del eje principal con respecto al Norte (desvíos de 15° en un rango de 0° y 75°). Para su análisis termo – energético, cada una de las tipologías, fue considerada como una unidad edilicia independiente, con características tipológicas de baja densidad.

Los valores adoptados fueron los siguientes: superficie total de terreno (10000 m²), superficie construida en P.B. (6400 m²), superficie construida total (12800 m²), altura máxima construida (6 m); quedando como variable a analizar la relación entre sus lados y su perímetro expuesto. Los valores de FOS y FOT resultantes, se encuentran dentro de los rangos medios estipulados por la Ordenanza Municipal vigente para una zona residencial de baja densidad.

Sobre un total de 24 posibilidades, se calcularon las áreas de fachadas norte potencialmente colectoras, para el día 21 de junio a las 12 hs, obteniendo una correlación entre cada geometría y su potencialidad solar. De los resultados obtenidos se desprende que las manzanas de forma rectangular, cuya proporción entre sus lados es mayor a 3 (Rectangular C), si bien presenta los valores mas altos de áreas potencialmente colectoras, tiene una limitación importante en los desvíos del eje mayor con respecto al norte, superiores a 60°. En las manzanas cuya proporción entre los lados es inferior a 2 (Cuadrada, Rectangular A), si bien los valores obtenidos son significativamente menores a los casos anteriores (50%), presentan valores más constantes en todas las variantes de orientación del eje mayor. (figura 1 y 2)

Tipología Cuadrada						
Tipología Rectangular A						
Tipología Rectangular B						
Tipología Rectangular C						
	0 grados	15 grados	30 grados	45 grados	60 grados	75 grados

Figura 1: Cálculo de las áreas potencialmente colectoras de las distintas geometrías de manzanas para distintas orientaciones cardinales con respecto al Norte: 21 de Junio, 12 hs.

Tabla 1: Resumen de los datos de cálculo del comportamiento térmico y de los requerimientos energéticos, para las distintas geometrías de manzanas analizadas, con orientación franca al norte (desvío del eje mayor con respecto al norte 0°).

Tipología	Area de terreno [m ²]	Volumen construido [m ³]	FOS	FOT	Area colectora norte total [m ²]	Area expuesta total [m ²]	Coficiente volumétrico de pérdidas (G) [kW/m ³ °C]	Carga térmica de calefacción anual por m ³ (Q) [kWh/año m ³]
Cuadrada	10000	57600	0.64	1.28	797	8320	1.39	36.92
Rectangular A	10000	57600	0.64	1.28	1143	8707	1.40	37.19
Rectangular B	10000	57600	0.64	1.28	1362	9175	1.41	37.57
Rectangular C	10000	57600	0.64	1.28	2000	10399	1.45	38.39

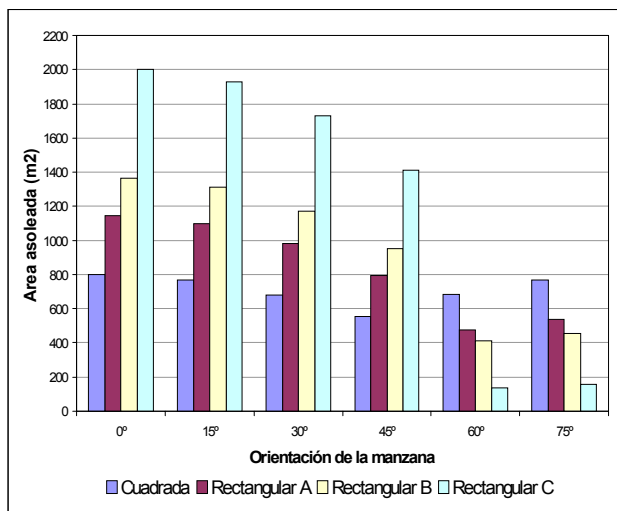


Figura 2: Valores de las áreas potencialmente colectoras de las manzanas, para distintas desviaciones de su eje mayor (15°), con respecto al Norte: 21 de Junio, 12 hs

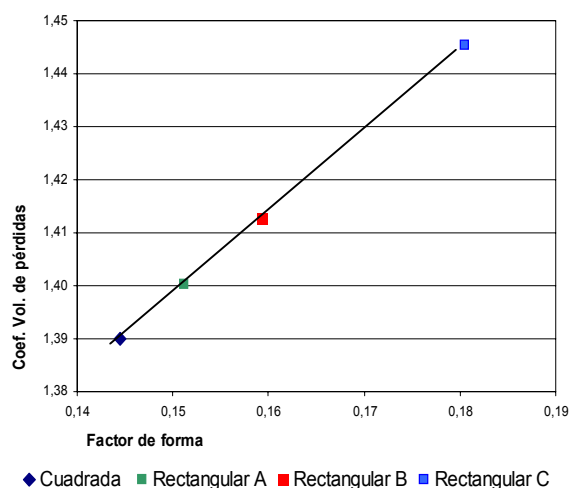


Figura 3: Relación del factor de forma y el coeficiente volumétrico de pérdidas, para las distintas geometrías de manzanas analizadas.

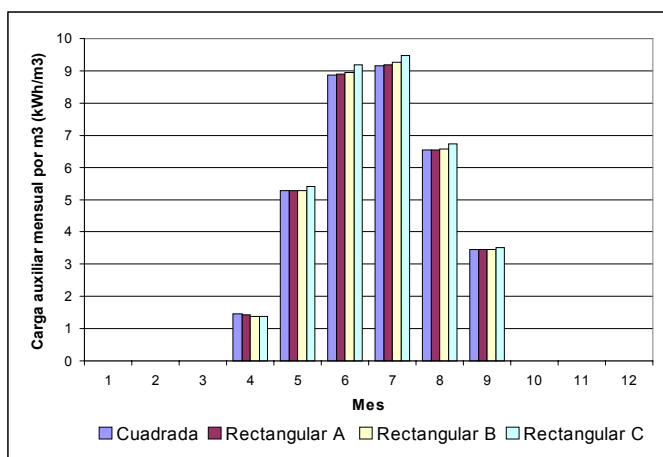


Figura 4: Valores comparativos del requerimiento mensual de energía necesaria para calefacción por metro cúbico construido, para las distintas tipologías de manzanas analizadas.

Las superficies de las áreas potencialmente colectoras obtenidos, traducidos a valores de energía potencialmente disponible (valores de fracción de ahorro solar de 20,3%), no se ven reflejados en los resultados de los cálculos del comportamiento energético (figura 4). Por estar los volúmenes considerados, constituidos por materiales de tecnología tradicional, la influencia de las pérdidas por excesivas áreas expuestas en las volumetrías abiertas, es muy importante. Y si bien la diferencia final de los requerimientos energéticos por unidad de volumen es mínima (menor al 1%), la conservación en las tipologías compactas, contrarresta el efecto solar. Las curvas de correlación entre el factor de forma correspondiente a cada morfología y su coeficiente volumétrico de pérdidas, presentan en forma clara una tendencia que se repite al analizar los valores energéticos. (tabla 1 y figura 3)

MORFOLOGÍA EDILICIA. Caracterización tipológica

Las características morfológicas del volumen construido dentro de las parcelas, establecen a escala más detallada, otro aspecto más de análisis de la correlación entre las condiciones generales de la construcción y su eficiencia energética.

Al igual que en el estudio de las manzanas, las volumetrías edilicias fueron consideradas como bloques aislados. Se identificaron 6 tipologías formales representativas del AMM (3 compactas y 3 abiertas), en cuatro alternativas de densificación. Se mantuvieron constantes los valores de superficie total de terreno (800 m²), superficie construida en P.B. (300 m²), superficie construida total por densidad, altura máxima construida (30 m), estando el FOS y FOT resultantes para cada densidad, dentro de los valores estipulados por el Código de Edificación, para las zonas residenciales. Variando sólo las características formales de cada volumen referentes a la relación entre los lados, área totales expuestas, volumen construido (4 densidades volumétricas). (figura 5 y tabla 2)

	Tipologías cerradas			Tipologías abiertas		
1 nivel						
	Tipología A1	Tipología B1	Tipología C1	Tipología D1	Tipología E1	Tipología F1
3 niveles						
	Tipología A2	Tipología B2	Tipología C2	Tipología D2	Tipología E2	Tipología F2
6 niveles						
	Tipología A3	Tipología B3	Tipología C3	Tipología D3	Tipología E3	Tipología F3
10 niveles						
	Tipología A4	Tipología B4	Tipología C4	Tipología D4	Tipología E4	Tipología F4

Figura 5: Vista axonométrica de cada tipología morfológica de edificio analizada.

Tabla 2: Resumen de los datos de cálculo del comportamiento térmico y de los requerimientos energéticos, para las distintas tipologías edilicias analizadas.

Tipología	FOS [%]	FOT [%]	Area expuesta total [m ²]	Factor de forma [1/m]	Relación carga colector (RCC)	Coefficiente volumétrico de pérdidas (G) [kW/m ³ °C]	FAS [%]	Carga térmica de calefacción anual por m ³ (Q) [kWh/año m ³]
A1	0.375	0.38	447,84	0,50	26,60	1,15	19,30	31,27
A2		1.13	743,52	0,28	21,37	1,07	23,33	27,16
A3		2.25	1187,04	0,22	19,86	1,04	24,79	26,02
A4		3.75	1778,4	0,20	19,25	1,03	25,38	25,57
B1	0.375	0.38	452,52	0,50	23,68	1,18	21,06	30,81
B2		1.13	757,56	0,28	18,67	1,07	25,94	26,43
B3		2.25	1215,12	0,23	17,42	1,05	27,16	25,39
B4		3.75	1825,2	0,20	16,92	1,04	27,65	24,98
C1	0.375	0.38	480	0,53	21,84	1,23	22,85	31,40
C2		1.13	840	0,31	17,68	1,12	26,91	27,23
C3		2.25	1380	0,26	16,63	1,10	27,93	26,22
C4		3.75	2100	0,23	16,22	1,09	28,33	25,83
D1	0.375	0.38	504	0,56	25,58	1,27	19,78	33,81
D2		1.13	912	0,34	20,87	1,16	23,80	29,42
D3		2.25	1524	0,28	19,70	1,14	24,95	28,31
D4		3.75	2340	0,26	19,23	1,13	25,35	27,90
E1	0.375	0.38	624	0,69	44,21	1,49	14,87	42,06
E2		1.13	1272	0,47	37,39	1,37	16,67	37,84
E3		2.25	2244	0,42	35,68	1,34	17,12	36,81
E4		3.75	3540	0,39	35,00	1,33	17,30	36,40
F1	0.375	0.38	660	0,73	36,53	1,55	16,89	42,87
F2		1.13	1380	0,51	31,98	1,43	18,10	38,87
F3		2.25	2460	0,46	31,37	1,40	18,26	37,95
F4		3.75	3900	0,43	31,12	1,39	18,33	37,58

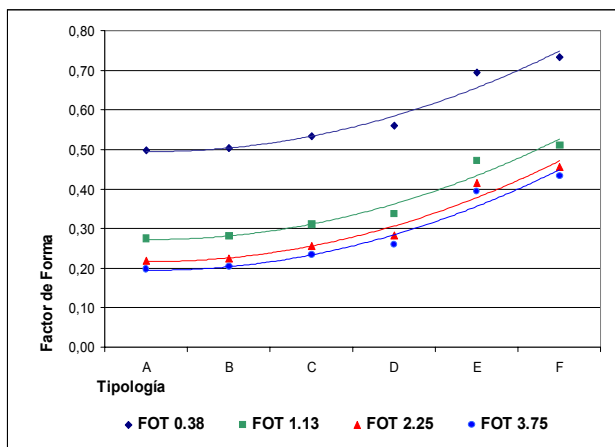


Figura 6: Relación entre el factor de forma y las variaciones del FOT, para las distintas tipologías edilicias analizadas.

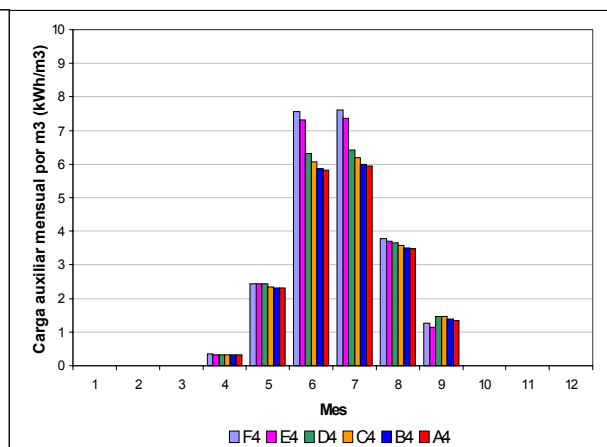


Figura 7: Valores comparativos del requerimiento mensual de energía necesaria para calefacción por metro cúbico construido, para las distintas tipologías edilicias analizadas.

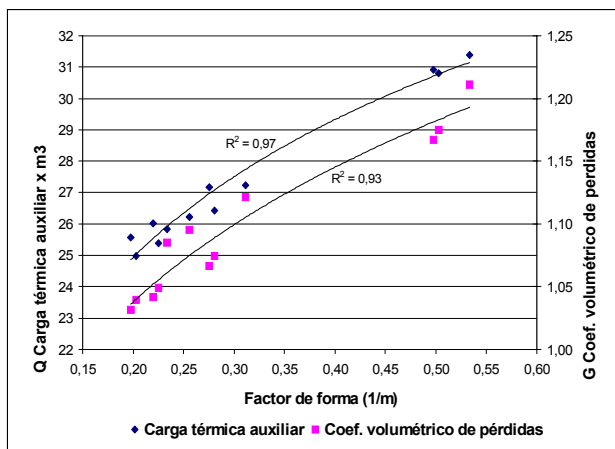


Figura 8: Valores comparativos del coeficiente volumétrico de pérdidas y del requerimiento mensual de energía necesaria para calefacción mensual por metro cúbico construido en relación con el Factor de Forma, para las distintas tipologías cerradas.

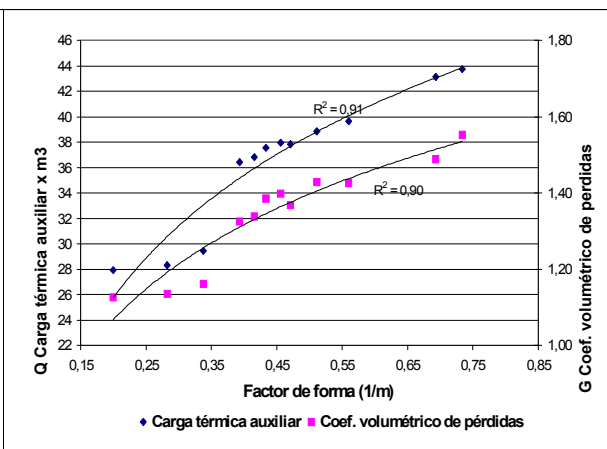


Figura 9: Valores comparativos del coeficiente volumétrico de pérdidas y del requerimiento mensual de energía necesaria para calefacción mensual por metro cúbico construido en relación con el Factor de Forma, para las distintas tipologías abiertas.

Al igual que en el análisis de las volumetrías de las manzanas, los resultados obtenidos corroboran la relación entre el factor de forma y el comportamiento térmico edilicio. Las curvas de ajuste de la figura 6, muestran variaciones del 150% de aumento de los valores del factor de forma en una misma tipología en sus distintas opciones de densidad, y variaciones del 60% en las distintas tipologías (abiertas y cerradas) una misma densidad. Este comportamiento, se repite al analizar los resultados de los cálculos del coeficiente volumétrico de pérdidas. Las altas densidades y las tipologías compactas, presentan bajos valores de factor de forma y un mejor comportamiento térmico. (figura 6)

En las figuras 7, 8 y 9 muestran, importantes reducciones de los requerimientos mensuales de energía necesaria para calefacción por unidad de volumen, coincidentes con la disminución del factor de forma, y por ende del área total expuesta. Se repite el mejor comportamiento de las altas densidades y las tipologías compactas, por sobre las tipologías abiertas de alta densidad. Los valores de consumos energéticos requeridos por metro cúbico varían entre 25,57 y 42,87 kWh/m³ entre una tipología cerrada de alta densidad y una abierta de baja densidad respectivamente. Esto en valores porcentuales representa un ahorro de consumo del 43%.

CONCLUSIONES

Analizando comparativamente los resultados obtenidos de las distintas tipologías urbanas, si bien las diferencias de acceso al recurso solar son significativas, no se reflejan en los requerimientos de energía por unidad de volumen. Mientras que las volumetrías rectangulares con acceso pleno al recurso solar duplican el área potencialmente colectora, en los valores del cálculo de los requerimientos energéticos, por su mayor superficie expuesta total, están por encima de las otras geometrías analizadas. Esto demuestra la importancia de la conservación de energía, en volumetrías con el tipo de tecnología analizada.

De los resultados obtenidos se desprende que el factor de forma es el parámetro morfológico que refleja mejor el comportamiento energético, de edificios aislados construidos con tecnologías tradicionales. Aumenta su valor en la baja densidad respecto a la alta (40%), y en las tipologías abiertas con respecto a las cerradas (25%), reflejándose esto en igual proporción, en los valores del coeficiente volumétrico de pérdidas (G) y la carga térmica auxiliar (Q). (figuras 3-9)

En futuras investigaciones se prevé realizar el estudio combinado de las dos escalas de análisis (morfología urbana y edilicia), permitiendo a través de esto un mayor ajuste de los resultados a la realidad.

REFERENCIAS

- Balcomb, J. (1983). *Passive Solar Design Handbook*. Vol. 3, American Solar Energy Society, Inc.
- de Rosa C. et al, (1989). PID N° 3-021900-85, "Diseño Bioclimático. Análisis desarrollo y propuestas. Informe final". Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda, CRICYT, CONICET.
- IRAM 11604, (1990). Acondicionamiento térmico de edificios. Ahorro de energía en calefacción. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales.
- Kahl, A. Programa SolArch módulo 6b.Solar, <http://www.kahl.net/solarch/solarch.htm>.
- Mascaró, L. (1991). *Energía na edificacao. Estrategia para minimizar seu consumo*. 2^{da} edición. Projecto editores asociados Ltda. Sao paulo.
- Mesa, N. et. al. (2000). Determinación del área de fachadas potencialmente colectoras, en medios urbanos, a través de un modelo gráfico computacional. *ISES 2000*.
- Mesa N. A., et al, (2000) Evaluación comparativa de iluminación natural en edificios residenciales con exposición norte y sur. *Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 4 , N° 1, Pp. 05.725 Ed. Millor, Salta, Argentina.
- Mesa N. A., et al, (2000) Evaluación del potencial solar en entornos urbanos. *Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 4, N° 2, Pp. 11.01, Ed. Millor, Salta, Argentina.
- Ministerio de Ambiente y Obras Públicas de Mendoza. (1998) "Estudio Energético Integral de la Provincia de Mendoza". Mendoza.

ABSTRACT

The goal of the present study is to deepen the knowledge on the relationship between morphological variables and energy requirements for space heating in buildings set in urban environment of arid zones cities, with dry-mesothermal climates.

Quantitative information on the correlation between morphological features of urban units (city blocks) and built unit typologies and their corresponding energy demands for space heating is presented.

Thermal performance and energy demand a calculation per unit volume of the typologies considered was accomplished by analytical calculation and simulation methods. The results obtained, as expected, confirm the more efficient energy response of high density urban units and compact building typologies, over low densities and open typologies (up to 40% savings); besides, the correlation between thermal performance and morphological features is presented.

KEYWORDS

Building morphology, geometrical features, residential buildings, energy efficiency.